

PENGUNAAN DINDING SILANG SEBAGAI TAHAN LATERAL PADA GALIAN DALAM DI TANAH SANGAT LUNAK

Oktaffian Widjaja¹, Chaidir Anwar Makarim²

¹Magister Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara Jakarta
Email: oktaffjaya@gmail.com

²Magister Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara Jakarta
Email: chaidir259@gmail.com

Masuk: 20-01-2020, revisi: 07-09-2020, diterima untuk diterbitkan: 15-09-2020

ABSTRAK

Galian dalam pada daerah dengan endapan tanah liat sangat lunak yang cukup dalam diperlukan sistem penahan tanah dan metode galian yang direncanakan dengan baik. Menggunakan dinding *diaphragm* sebagai sistem penahan tanah untuk galian dalam merupakan pilihan yang dapat dilakukan. Penggunaan dinding *diaphragm* diharapkan dapat membatasi pergerakan yang terjadi pada dinding dan menghindari kebocoran yang terjadi pada dinding penahan tanah karena sistem pengecoran yang saling mengunci dan pertemuan antara panel dinding dapat dipasang *waterstop*, hal ini diperlukan untuk menghindari kerusakan pada bangunan yang berdekatan dengan daerah galian. Metode galian *top down* yaitu galian bertahap dengan memanfaatkan lantai besmen sebagai tahanan lateral dapat dilakukan untuk mengurangi pergerakan yang terjadi pada tanah. Pada daerah tanah sangat lunak dengan jarak galian dengan tetangga sangat berdekatan pergerakan pada tanah harus dibatasi untuk meminimalkan kerusakan pada bangunan yang berdekatan. Dinding silang merupakan sistem tahanan lateral yang dapat dipergunakan untuk mengurangi pergerakan yang terjadi pada tanah. Analisis elemen hingga menggunakan program *Plaxis 2D* dilakukan untuk mengetahui kinerja dinding penahan tanah dan pergerakan yang terjadi. Dari hasil analisis yang dilakukan diperoleh hasil bahwa dengan menggunakan dinding silang yang terletak pada di bawah *raft pile* dapat menurunkan pergerakan yang terjadi pada dinding penahan tanah dan tahapan galian dapat dikurangi.

Kata kunci: dinding *diaphragm*; dinding silang; galian dalam; tanah sangat lunak

ABSTRACT

Deep excavation in areas with very soft clay deposits need a good soil retaining system and excavation method. Using a diaphragm wall as a soil retaining system for deep excavation is a good choice can be done. Diaphragm wall is expected to limit the movement that occurs in the retaining walls and avoid leaks that occur in walls, this is needed to minimize damage to adjacent buildings. The top down excavation method by utilizing the basement floor as lateral resistance can be carried out to reduce the movement that occurs on the ground. In very soft soil areas with excavation distances to neighbors very close, the movement on the ground must be limited to minimize damage to adjacent buildings. Cross walls can be used to reduce the movement that occurs on the ground. Analysis of finite element with using the Plaxis program was carried out to investigate the performance of the retaining wall. From the results of the analysis conducted shows that using a cross wall at a location below the raft pile can be reduced the movement that occurs in the retaining wall and the excavation stages can be reduced.

Keywords: cross wall; deep excavation; diaphragm wall; very soft soil

1. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Pembangunan gedung tinggi arah vertikal di kota-kota besar merupakan suatu kebutuhan, dengan semakin mahalnya harga tanah dan terbatasnya lahan. Pembangunan besmen vertikal ke bawah untuk memenuhi kebutuhan tempat parkir untuk menjadi pilihan yang tidak dapat dihindari. Pembangunan besmen dalam yang berarti dalam pelaksanaannya membutuhkan galian dalam bukanlah hal yang mudah untuk dilakukan memerlukan sistem penahan tanah yang cocok dan perencanaan galian yang matang, terutama pada daerah-daerah padat penduduk dimana jarak antara bangunan cukup dekat, muka air tanah tinggi, dan pada daerah dengan kondisi tanah sangat lunak.

Pergerakan yang terjadi pada dinding penahan tanah akibat galian dalam yang dilakukan untuk pembangunan besmen dan kebocoran yang dapat terjadi pada dinding penahan tanah merupakan faktor yang sangat kritikal perlu diperhatikan. Hal ini merupakan tantangan untuk dapat ditemukan metode galian dan sistem penahan tanah yang tepat sehingga tidak mengakibatkan efek negatif pada bangunan sekitar galian dan pembangunan konstruksi besmen dapat dilaksanakan dengan cepat. Sistem dinding penahan tanah untuk menjaga stabilitas lereng pada galian dalam penelitian ini menggunakan *diaphragm wall* (*Dwall*). Pada galian dalam tentunya tidak mungkin menggunakan dinding penahan tanah dengan sitem kantilever dan galian langsung dilakukan dalam satu tahap karena akan terjadi pergerakan tanah yang sangat besar tidak memenuhi ketentuan yang disyaratkan pada peraturan geoteknik yang berlaku SNI 8460:2017, dapat terjadi keretakan pada dinding penahan tanah dan membahayakan lingkungan sekitar. Sehingga diperlukan sistem tahanan lateral yang cukup kaku dan metode galian yang tepat untuk mengurangi pergerakan dinding penahan tanah yang terjadi.

Metode galian *top down* merupakan galian bertahap dengan memanfaatkan kekakuan pelat lantai sebagai tahanan lateral pada dinding penahan tanah yang secara bertahap pengecoran lantai besmen dilakukan secara bertahap dari atas ke bawah (Choiriyah, 2015). Untuk daerah galian dalam dengan properti tanah yang sangat lunak dengan nilai N_{spt} 1 sd 4 (Makarim, 2002), sering kali metode tersebut masih terjadi pergerakan yang cukup besar tidak memenuhi ketentuan yang berlaku dan penambahan panjang dinding penahan tanah atau penebalan *Dwall* juga tidak membantu mengurangi pergerakan yang terjadi dan memerlukan biaya yang sangat besar. Sehingga diperlukan inovasi untuk memperkaku dinding penahan tanah tersebut. Penggunaan dinding silang akan diperkenalkan pada penelitian ini sebagai struktur pengaku pada dinding penahan tanah (Ou, 2018). Analisa dengan metode elemen hingga (*finite element method*) akan dipergunakan untuk mempelajari kinerja dari dinding penahan tanah pada galian dalam (Liong, 2013).

Hasil numerik metode galian dengan dinding silang dan tanpa dinding silang tersebut akan dibandingkan, sehingga akan terlihat keunggulan menggunakan dinding silang pada sistem dinding penahan tanah untuk galian dalam. Dengan penggunaan dinding silang akan dipelajari pengaruhnya pada perpindahan yang terjadi pada dinding penahan tanah (Wang, 2018) dan juga kemungkinan untuk menghilangkan atau mengurangi pengaku lateral pada lantai besmen sehingga memudahkan pelaksanaan galian dan pengecoran lantai besmen karena tahapan galian akan berkurang. Dinding silang merupakan inovasi dari *diaphragm* yang berfungsi sebagai tahanan lateral, yang mana sudah terpasang sebelum galian dilakukan dan harus mampu menerima tegangan tekan (Ou, 2008). Lokasi penempatan dinding silang sebaiknya di bawah galian, sehingga tidak mengganggu pelaksanaan galian.

Parameter tanah yang akan dipergunakan dalam penelitian yang berlokasi di jalan Kebun Sirih, Jakarta. Dimana terdapat tanah sangat lunak yang cukup dalam lokasi tersebut. Diharapkan dengan hasil penelitian ini dapat menjadi pilihan dalam menentukan metode galian yang tepat terutama pada daerah tanah sangat lunak yang padat penduduk, dimana masalah kebocoran pada dinding penahan tanah dan pergerakan dinding penahan tanah selama proses tahapan galian tanah dilakukan harus dibatasi agar tidak berdampak negatif terhadap lingkungan sekitarnya.

Rumusan Masalah

Pada galian dalam dengan metode *top down* dan dengan penggunaan dinding silang, bagaimana pengaruh penggunaan dinding silang untuk mengatasi masalah pergerakan tanah pada daerah tanah sangat lunak?

Tujuan Penelitian

Mengetahui manfaat penggunaan dinding silang sebagai tahanan lateral dan pengaruhnya terhadap pergerakan yang terjadi pada dinding penahan

2. METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian merupakan tahapan penelitian yang akan dilalui untuk mencapai penulisan sebuah karya ilmiah. Diharapkan hasil penelitian dapat dipercaya oleh banyak orang dan jika ada kelemahan di dalam penelitian, kelemahan tersebut akan dilaporkan. Metode penelitian berisikan tahap penelitian yang dilalui dari penulisan pendahuluan hasil penelitian.

Pada penelitian ini penulis menggunakan data sekunder dan data primer. Data primer diperoleh dengan melakukan studi lapangan. Studi lapangan merupakan cara pengumpulan data. Data primer yang digunakan pada penelitian ini adalah data hasil pengamatan penulis di Proyek Apartemen di jalan Kebun Sirih tersebut yang berupa metode galian tanah, jenis dinding penahan tanah, pengambilan sampel tanah untuk penyelidikan tanah dan kondisi lingkungan daerah galian tanah. Data sekunder yang dibutuhkan untuk mempermudah penelitian sebagai penunjang berupa data tanah hasil penyelidikan tanah, tabel korelasi untuk menentukan parameter tanah dan gambar pelaksanaan.

Data parameter geoteknik yang digunakan merupakan elaborasi data primer dan data sekunder yang didapat dari hasil uji lapangan, uji laboratorium untuk tanah setempat dan data empirik dari tabel korelasi (Bowles, 1984). Pada gambar 1 dapat dilihat rangkuman data tanah pada lokasi.

	Elevasi					Umum			Jangka pendek (<i>undrained</i>)					Jangka Panjang (<i>drained</i>)					<i>Ground water</i>			
Layer	Kedalaman		Tebal	Jenis Tanah	Nspt	Model	γ unsat	γ sat	Su	ϕ_u	Eu50	Eur	v	c'	ϕ'	E _{50'}	Eur'	v'	k _x	k _y	R inter	Ko
	m	m				m		kN/m ³	kN/m ³	kN/m ²		kPa	kPa		kN/m ²		kPa	kPa		m/s	m/s	
1	0	11.2	11.2	Very Soft Clay	1	MC	13.26	13.86	20	0	8000	40000	0.3	10	25	4000	20000	0.2	0.086	0.086	0.7	0.52
2	11.2	21.2	10	Soft Clay	4	MC	16	16.45	25	0	12000	60000	0.3	15	25	6900	34500	0.2	0.086	0.086	0.7	0.52
3	21.2	31	9.8	Stiff Clay	33	MC	17.5	17.7	40	0	100000	500000	0.2	20	30	50000	250000	0.2	0.086	0.086	0.7	0.43
4	31	40	9	Silty Sand	33	MC	18.09	18.26	0.1	0	150000	750000	0.2	1	35	50000	250000	0.2	0.086	0.086	0.7	0.69
5	40	100	60	Stiff Clay	25	MC	18.85	18.94	150	0	80000	400000	0.2	30	25	77800	389000	0.2	0.086	0.086	0.7	0.69

Gambar 1. Rangkuman Data Tanah

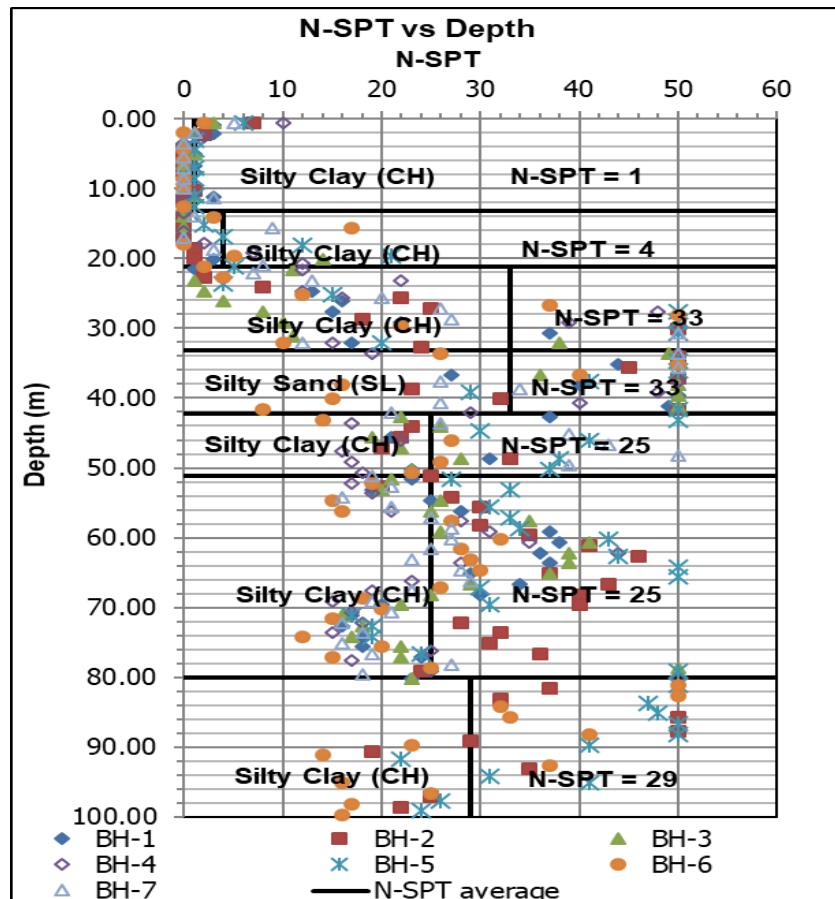
Sumber: Bowles, 1984

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam pembahasan ini akan dilakukan penelitian dengan memanfaatkan penggunaan dinding silang untuk memperkaku *diaphragm wall*. Dengan menggunakan dinding silang ini diharapkan tahapan galian dapat dilakukan langsung mencapai bawah *raft pile* dengan tahanan lateral hanya pada lantai besmen paling atas, sehingga dapat mempercepat waktu pelaksanaan dan mengurangi pergerakan yang terjadi pada dinding penahan tanah. Lokasi proyek berdekatan dengan pemukiman masyarakat, sehingga metode pelaksanaan galian harus direncanakan dengan baik agar tidak mengganggu lingkungan sekitar.

Galian menggunakan metode *top down* yaitu metode galian yang dilakukan secara bertahap dari atas ke bawah, dan untuk pekerjaan pembangunan konstruksi besmen dilakukan bertahap mengikuti tahapan galian dari atas ke bawah. Lantai besmen yang sudah di cor beton sesuai tahapan galian akan sekaligus berfungsi sebagai tahanan lateral pada *diaphragm wall*. Galian dalam yang akan dilakukan cukup dalam 11,5m, sehingga tidak mungkin dilakukan galian terbuka

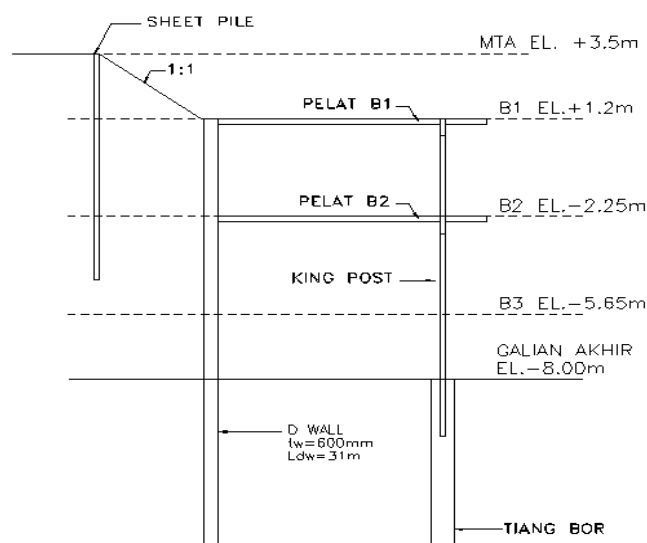
langsung sampai elevasi bawah *raft pile*. Galian dilakukan bertahap dengan beberapa lantai besmen akan dicor terlebih dahulu yang akan berfungsi sebagai tahanan lateral. Penelitian dilakukan pada daerah kondisi tanah sangat lunak seperti dapat dilihat gambar 2 hubungan antara nilai SPT terhadap kedalam tanah. Tanah sangat lunak dengan nilai N_{spt} 1 sd 4 terdapat sampai dengan ke dalam 20m.



Gambar 2. Hubungan antara N_{spt} dan kedalaman

Tahapan galian dengan metode *top down* (seperti terlihat pada gambar 3) dilakukan dengan tahapan adalah sebagai berikut:

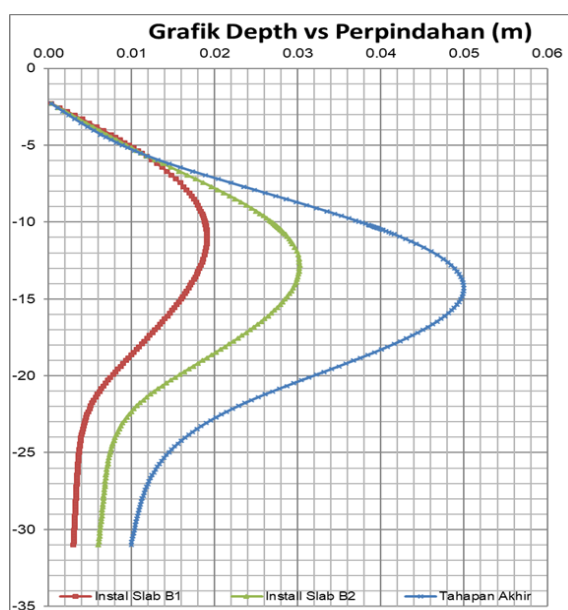
- Tahap pertama instalasi *Dwall* sebagai dinding untuk proteksi galian, *kingpost* dan tiang bor sebagai pondasi bangunan secara keseluruhan. *Dwall* yang diusulkan harus cukup dalam yang berfungsi sekaligus sebagai *cut off wall* sehingga *dewatering* di dalam daerah galian dapat dilakukan dengan system pasif, dan selama *dewatering* dalam area galian dilakukan tidak mengganggu air tanah di luar galian.
- Tahap kedua melakukan galian sampai dengan level besmen 1.
- Tahap ketiga pengecoran konstruksi pelat dan balok di lantai besmen 1 yang sekaligus berfungsi sebagai tahanan lateral permanen *Dwall* di elevasi besmen 1.
- Tahap keempat, setelah pengecoran konstruksi lantai besmen 1 selesai, maka dilanjutkan tahapan galian berikutnya sampai dengan 1,5m di bawah elevasi lantai besmen 2.
- Tahap kelima melakukan pengecoran konstruksi pelat dan balok lantai besmen 2 sebagai tahanan lateral permanen *Dwall* di elevasi besmen 2.
- Tahap keenam tahapan galian dapat dilanjutkan sampai dengan *cut off level* tiang bor.
- Tahap ketujuh melakukan pengecoran konstruksi *raft pile* dan lantai besmen 3.



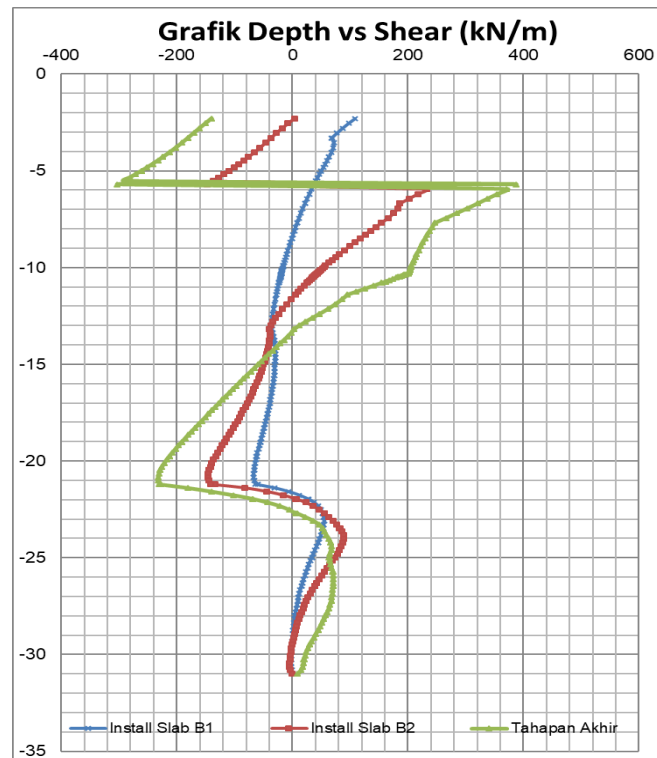
Gambar 3 Potongan tahapan galian dengan metode *top down*

Pemodelan elemen hingga menggunakan perangkat lunak *Plaxis 2D* dengan model tanah menggunakan *Mohr Coulumb* (Coduto, 2014), hasil analisa untuk kondisi *drained* (jangka panjang) menunjukkan bahwa pergerakan maksimum yang terjadi pada dinding penahan tanah sebesar 4,93 cm. Pola perpindahan arah x (horizontal) dapat dilihat pada gambar 4. Faktor keamanan galian untuk jangka panjang sebesar 2,16. Penurunan permukaan tanah eksisting arah vertikal di luar galian sebesar 1,024 cm.

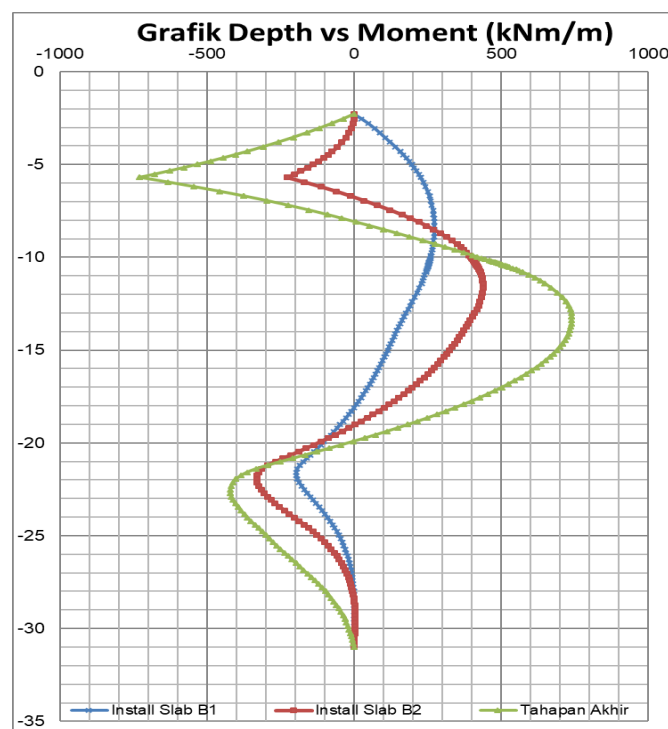
Gaya dalam yang terjadi pada dinding penahan tanah untuk gaya geser maksimum sebesar 387,13 kN per meter lari dan momen lentur maksimum yang terjadi sebesar 740,7 kNm per m lari. Gaya geser (V) dan momen lentur (M) yang terjadi sepanjang D_{wall} dapat dilihat pada gambar 5 dan gambar 6. Pada gambar perpindahan terlihat bahwa tidak terjadi pergerakan pada bagian atas d_{wall} , perpindahan terjadi pada bagian ujung bawah D_{wall} dan perpindahan terbesar terjadi di elevasi pada elevasi -14 m di bawah muka tanah eksisting.



Gambar 4 Hubungan kedalaman galian (m) dan perpindahan horizontal (m)

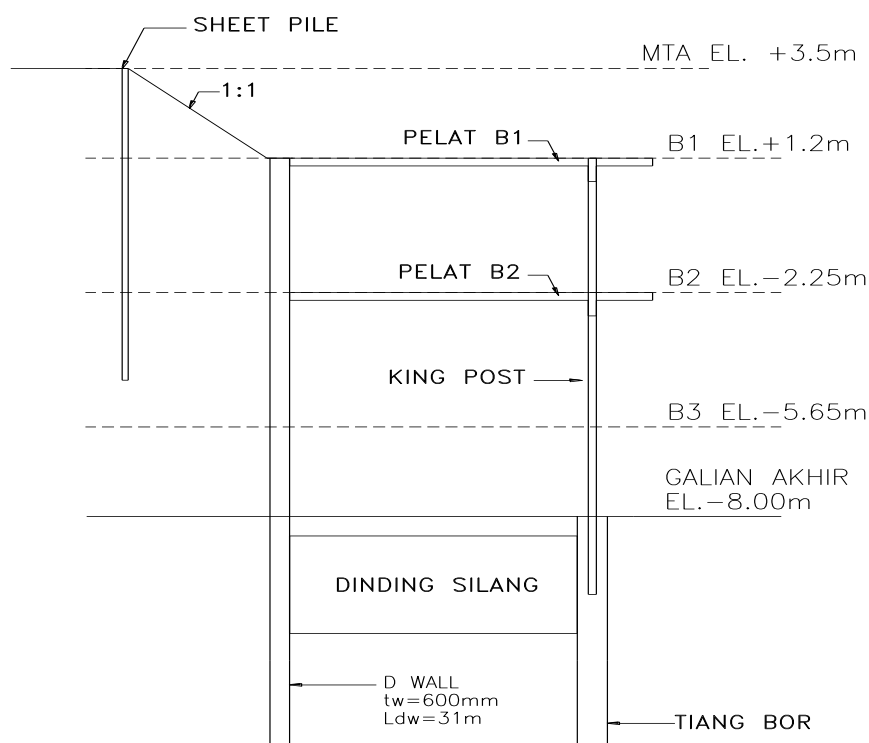


Gambar 5 Hubungan kedalaman galian (m) dan gaya geser (kN/m)



Gambar 6 Hubungan kedalaman galian (m) dan momen lentur (kNm/m)

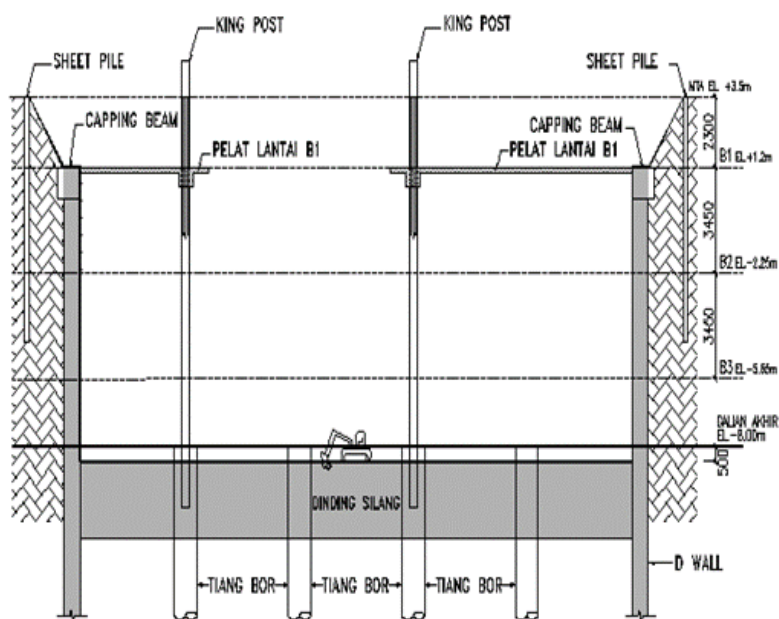
Untuk mengurangi deformasi pada *diaphragm wall* maka dengan metode galian yang sama dengan *top down* (tahanan lateral tetap di lantai besmen 1 dan besmen 2) tetapi ditambahkan dinding silang pada di bawah *cut off level* dari tiang bor (elevasi -8,7 m) dengan jarak antara dinding silang 13 m, lokasi dinding silang dapat dilihat pada gambar 7. Ukuran dinding silang dipergunakan tebal 60cm dan tinggi 4m.



Gambar 7 Tahanan lateral di lantai B1 dan B2 dengan dinding silang

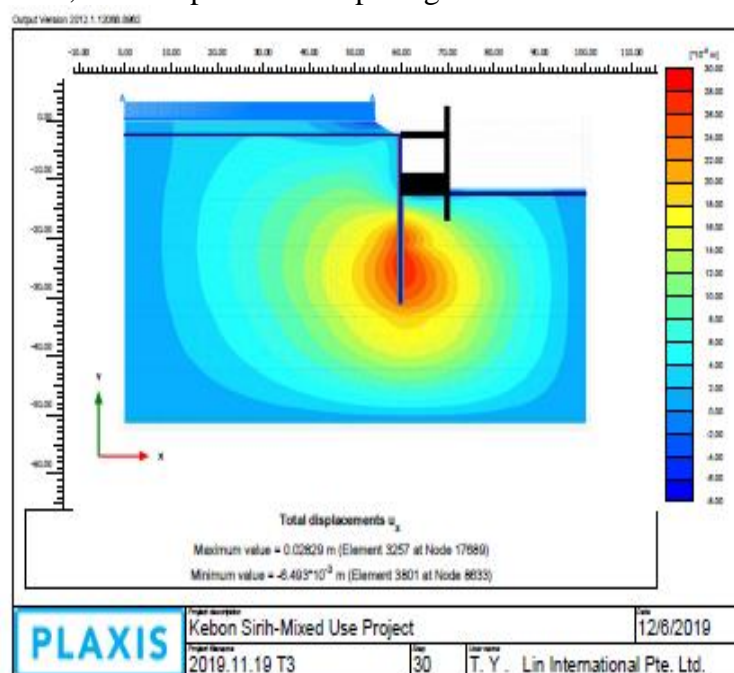
Hasil analisa dengan menggunakan program *Plaxis 2D* dengan kondisi *drained* menunjukkan bahwa pergerakan maksimum yang terjadi pada dinding penahan tanah dengan adanya dinding silang menjadi sebesar 2,77 cm. Gaya dalam yang terjadi pada dinding penahan tanah untuk gaya geser maksimum sebesar 610 kN per meter lari dan momen lentur maksimum yang terjadi pada sebelah dalam galian sebesar 532,31 kNm per m lari. Momen lentur yang terjadi pada luar galian pada lokasi dinding silang dipasang menjadi lebih besar dibanding tanpa menggunakan dinding silang menjadi sebesar 1306 kNm/m, hal ini terjadi karena pada elevasi dinding silang dipasang ada tahanan yang cukup kaku.

Untuk mengurangi deformasi pada dinding penahan tanah dan mengurangi tahapan yang dilakukan pada metode *top down*, pada metode ini tahanan lateral hanya di lantai besmen 1 dan pada bagian bawah galian menggunakan dinding silang. Dinding silang dipasang dengan jarak antara dinding silang sebesar 13 m dengan ukuran 60 cm x 400 cm, akan berfungsi sebagai tahanan lateral yang lokasi diletakan di bawah muka tanah galian agar tidak mengganggu pada saat galian dilakukan. Tahapan galian hanya dilakukan 2(dua) tahap yaitu galian tahap pertama melakukan galian sampai dengan level besmen 1 dan galian tahap kedua melakukan galian sampai dengan *cut off level* tiang bor (bagian bawah elevasi *raft pile* seperti terlihat pada gambar lihat gambar 8).



Gambar 8 Metode galian dengan dinding silang

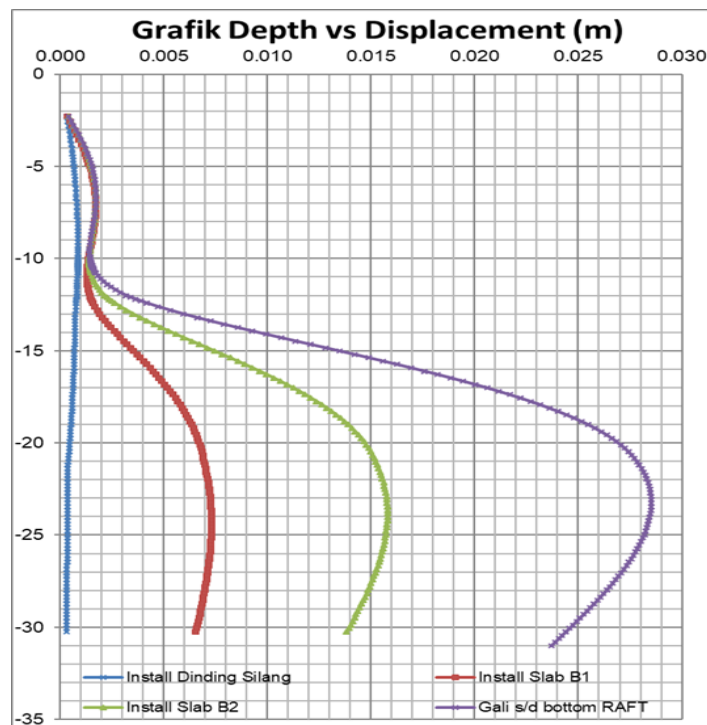
Hasil analisa dengan menggunakan program *Plaxis 2D* dengan kondisi *drained* menunjukkan bahwa pergerakan maksimal yang terjadi pada dinding penahan tanah dengan adanya dinding silang menjadi sebesar 2,83 cm seperti terlihat pada gambar 9.



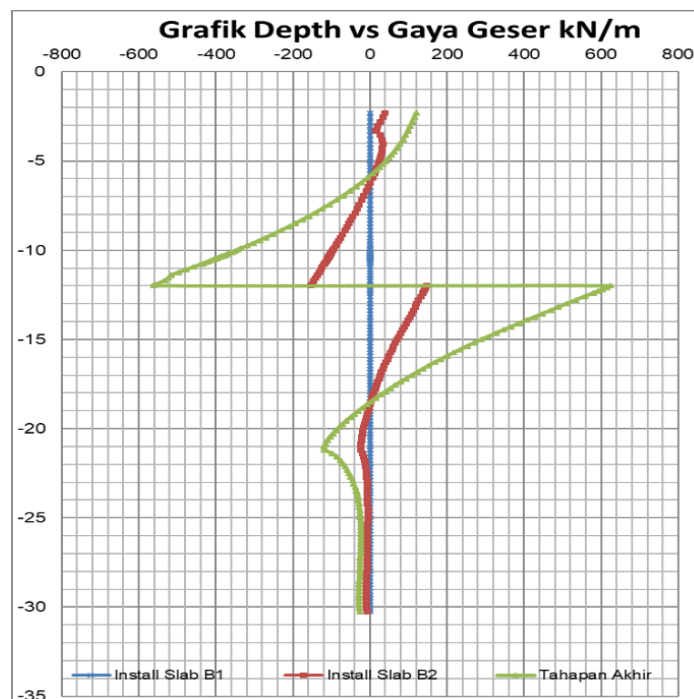
Gambar 9 Perpindahan arah horizontal

Gaya dalam yang terjadi pada dinding penahan tanah untuk gaya geser maksimum sebesar 630 kN per meter lari dan momen maksimum yang terjadi pada sebelah dalam galian sebesar 541,43 kNm per m lari. Momen yang terjadi pada luar galian menjadi lebih besar dibanding tidak menggunakan dinding silang sebesar 1244,13 kNm

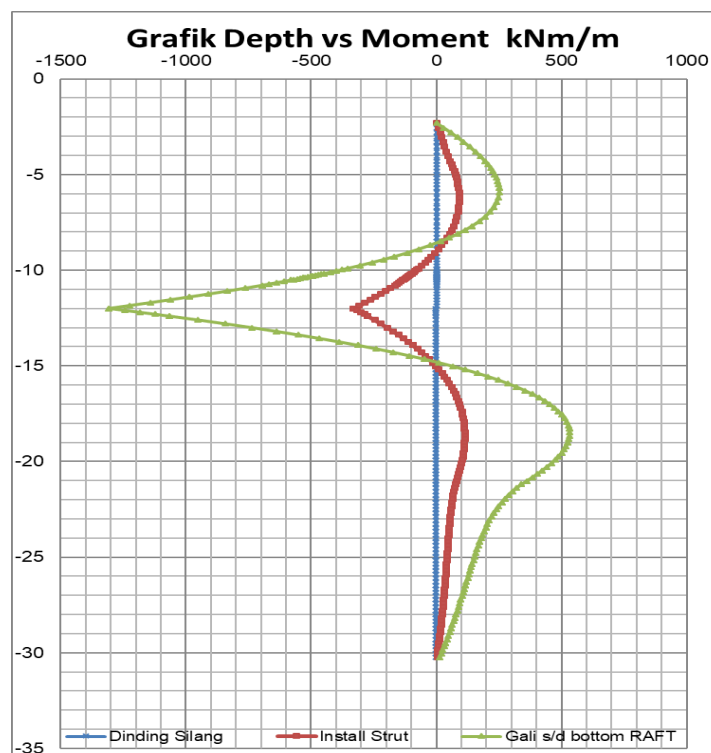
Perpindahan, gaya geser dan momen maksimal yang terjadi sepanjang *Dwall* dapat dilihat pada gambar 10, gambar 11 dan gambar 12. Pada grafik perpindahan horizontal terlihat bahwa dengan adanya dinding silang dapat mengurangi pergerakan yang terjadi pada *Dwall* cukup besar dari 4,93 cm menjadi 2,8 cm. Sedangkan hasil penurunan vertikal yang terjadi pada tanah di luar galian sebesar 0,95 cm.



Gambar 10 Hubungan kedalaman (m) dengan perpindahan (m)



Gambar 11 Hubungan kedalaman (m) dengan gaya geser (kN/m)



Gambar 12 Hubungan kedalaman (m) dengan momen lentur (kNm/m)

Hasil analisis dari ketiga metode galian memperlihatkan bahwa penggunaan dinding silang dapat menurunkan pergerakan pada dinding penahan tanah cukup signifikan, dengan ukuran dinding silang 60 cm x 400 cm dan jarak antara dinding silang setiap 13m dapat mengurangi pergerakan tanah dari 4,9 cm menjadi 2,8 cm. Gaya tekan di lantai besmen 1 juga dapat berkurang. Terlihat pada dinding silang yang kaku tersebut memikul gaya tekan dan momen yang bertambah besar, sedangkan momen pada *Dwall* pada elevasi lainnya menjadi berkurang. Gambar 13 memperlihatkan rangkuman deformasi, gaya geser dan momen hasil 3(tiga) metode galian.

No.	Metode Galian	Perpindahan horizontal (m)	Gaya Geser di B1 (kN)	Gaya Geser di B2 (kN)	Gaya Geser di Dinding Silang (kN)	Momen lentur (+) sisi kanan (kNm)	Momen lentur (-) sisi kiri (kNm)
1	Tahanan lateral di B1 dan B2	0,049 (El. -16,84)	139,93 (El.-2,30)	387,13 (El.-5,75)	-	740,60 (El.-13,20)	-728,79 (El.-5,70)
2	Tahanan lateral di B1, B2 & Dinding Silang	0,027 (El.-25,72)	120,22 (El.-2,30)	46,81 (El.-5,75)	625,42 (El.-12,0)	532,31 (El.-18,47)	-1306,9 (El.-12,0)
3	Tahanan lateral B1 & Dinding Silang	0,028 (El.-29,49)	70,78 (El.-2,30)	-	614,01 (El.-12,0)	541,43 (El.18,47)	-1244,13 (El.-12,0)

Gambar 13 Perpindahan horizontal, gaya geser dan momen untuk 3(tiga) metode galian

Selain perpindahan horizontal, gaya yang terjadi pada lantai B1 dengan metode *top down* tanpa dinding silang dibandingkan dengan menggunakan dinding silang berkurang cukup besar sekitar 2 kali.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil penelitian ini sebagai berikut:

- Hasil analisis yang dilakukan terlihat bahwa tahapan galian pada metode *top down* yaitu pelaksanaan konstruksi besmen dari atas ke bawah dan dengan memanfaatkan lantai besmen sebagai tahanan lateral akan mempengaruhi perilaku dan perpindahan yang terjadi pada *diprghm wall*.
- Deformasi yang terjadi pada metode *top down* dengan tahanan lateral pada lantai besmen 1 dan besmen 2 didapat perpindahan horizontal sebesar 4,93 cm. Dan setelah ditambah dengan dinding silang yang terletak di bawah daerah galian didapat perpindahan horizontal berkurang menjadi sebesar 2,77 cm Sehingga penambahan dinding silang sangat membantu mengurangi perpindahan horizontal yang terjadi.
- Dari analisis dengan mengurangi tahapan galian dengan tahanan lateral hanya pada lantai besmen 1 mendapatkan hasil perpindahan horizontal sebesar 2,8 cm, hal ini mendekati 2,77 cm. Sehingga dengan menggunakan dinding silang maka tahapan galian dapat dikurangi.
- Gaya lateral pada level lantai besmen 1 berkurang cukup besar dari 139,93 kN menjadi 70,78 kN.
- Dinding silang sebagai tahanan lateral dapat dipergunakan untuk mengurangi deformasi dan tahapan galian sehingga waktu pelaksanaan lebih cepat.
-

Saran

Saran berisikan masukan-masukan yang berguna untuk menunjang kemajuan penelitian. Sehingga, hasil yang didapatkan lebih baik daripada sebelumnya. Berikut adalah beberapa saran yang berkaitan dengan penelitian dilakukan, yakni :

- Dapat dilakukan penelitian lanjutan dengan menggunakan metode *soft soil* dan *soil hardening* untuk membandingkan hasilnya dengan metode Mohr-Coulomb yang sudah dilakukan
- Dilakukan perbandingan berdasarkan biaya pelaksanaan antara metode *top down* dan metode galian dengan menggunakan dinding silang.
- Melakukan penelitian dengan beberapa ukuran dinding dan lokasi dinding silang untuk mendapatkan hasil yang optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, J. E. (1984). *Physical and Geotechnical Properties Of Soilnd Structures*. McGraw-Hill, Inc.
- Coduto, D. P., Kitch, William A., Yeung, Man-chu R. (2014). *Foundation Design: Principles And Practices Third Edition*. Person Education, Inc., Upper Saddle River, New Jersey.
- Choiriyah, S. (2015). *Analisis Pekerjaan Basement Pada Metode Top Down Dengan Alat Berat Ditinjau dari Aspek Teknik, Waktu, dan Biaya*. Jurnal Teknik Sipil Untag, Surabaya
- Das, B.M. (2007). *Fundamentals of Geotechnical Engineering*. Third Edition. Chris Carson, United States.
- Dunn, I.S., Anderson, L.R., Kiefer, F.W. (1980). *Dasar-dasar Analisis Geoteknik*, John Wiley & Sons
- Huang, A.B., Yu, H.S. (2018) *Foundation Engineering Analysis & Design*. CRC Press Taylor & Francis Group.
- Makarim, C.A. (2002). *Distribution of Soft Soil In Jakarta Area: Characteristic, Thickness and Its Potential Long Term Settlement*. Universitas Tarumanegara, Jakarta
- Lambe, T.W. dan Whitman, R.V. (1969). *Soil Mechanics*. John Wiley and Son Inc. New York

- Liong, G.T. (2013). *Some Notes on The Application of Geotechnical Finite Element Method in Analyzing Excavation Problems*.
- Ou, C.Y. dan Lim, A. (2018). *Use of Strut Free Systems in Deep Excavations*. Prosiding 20th Asian Geotechnical Conference, Pertemuan Ilmiah Tahunan HATTI, Jakarta
- Ou, C.Y. (2006). *Deep Excavation Theory and Practice*, Taylor & Francis Group, London, UK.
- Poulos, H.G. and Davis, E.H. (1980). *Pile Foundation Analysis and Design*. John Wiley and Sons, Inc. Canada
- Punmia, B. C. (1981). *Soil Mechanics and Foundations Six Edition*. Standard Book House, Delhi.
- SNI 8460:2017. (2017). *Persyaratan Perancangan Geoteknik*. Badan Standarisasi Nasional (BSN).
- Rajapakse, R. (2016). *Geotechnical Engineering Calculation and Rules of Thumb*. 2nd edition. Butterworth-Heinemann. USA
- Terzaghi, Karl, P., Ralph, B. (1967). *Soil Mechanics in Engineering Practice Second Editions*. Willey International Edition.
- Wang, Zih Yun, Hsiung B.C.B., Hsieh, H.S., Ge, Louis. (2018). *Effects of Cross Wall to System Stiffness of Deep Excavations in Clay*. Prosiding 20th Asian Geotechnical Conference, Pertemuan Ilmiah Tahunan Hatti, Jakarta
- Xiao, M. (2015). *Geotechnical Engineering Design*, Willey Blackwell, John Wiley & Sons, Ltd.